

Available online at: <http://reactor.poltekatiptd.ac.id/>

REACTOR
Journal of Research on Chemistry and Engineering

| ISSN Online 2746-0401 |



Evaluasi Indeks Tarik dan Indeks Sobek pada *Bleaching Pulp*: Pengaruh Hidrogen Peroksida (H₂O₂), Klorin Dioksida (ClO₂) dan Suhu

Hasnah Ulia¹, Enny Nurmalasari¹, Agung Kurnia Yahya¹, Puji Rahayu²

¹ Jurusan D3 Teknik Kimia Bahan Nabati, Politeknik ATI Padang, Jl. Tabung Bungo Pasang, Padang, 25171, Indonesia

² Jurusan D3 Teknologi Proses Industri Petrokimia, Politeknik Industri Petrokimia Banten, Jl. Raya Karang Bolong, Kabupaten Serang, 42166, Indonesia

ARTICLE INFORMATION

Received: December 28, 2023

Revised: June 19, 2024

Accepted: June 25, 2024

KEYWORDS

Delignification, Mechanical Properties, Pulp Bleaching, Tear Index, Tensile Index

CORRESPONDENCE

Name: Enny Nurmalasari

E-mail: ennynurmala1812@gmail.com

A B S T R A C T

Indonesia is one of the leading Pulp and paper producers globally, with an estimated annual growth rate of 3.5%. However, domestic production has not yet fully met the domestic needs and export demand for paper. Currently, hydrogen peroxide (H₂O₂) and chlorine dioxide (ClO₂) are the primary bleaching agents used in Pulp and paper production. This research aims to evaluate the effects of H₂O₂, ClO₂, and temperature on product quality parameters, specifically the tensile and tear indices. The variations of ClO₂ used are 2%, 0.4%, and 0.7%; H₂O₂ concentrations are 0.1%, 0.2%, and 0.4%; and the temperatures used are 75°C and 85°C. The study found that the addition of ClO₂ at a concentration of 0.7% resulted in the highest tensile index of 76.9 N.m/g and a tear index of 3.5 m.N.m²/g. The addition of H₂O₂ at a concentration of 0.1% resulted in a tensile index of 83.9 N.m/g and a tear index of 9.4 m.N.m²/g. Temperature variations did not significantly affect the tensile and tear indices, with the tensile index reaching 9.35 m.N.m²/g. The addition of H₂O₂ is essential as it enhances the bleaching process and improves the mechanical properties of the Pulp, which is beneficial for optimizing bleaching conditions to enhance product quality, thus meeting both domestic needs and export demands.

PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu produsen *Pulp* dan kertas terkemuka. Seiring dengan pertumbuhan industri ini berakibat pada meningkatnya permintaan akan *Pulp* dan kertas. Diperkirakan permintaan akan meningkat sebesar 3,5% setiap tahun, namun produksi saat ini masih belum mencukupi kebutuhan domestik dan permintaan ekspor. Menurut APKI (Asosiasi *Pulp* dan Kertas Indonesia), industri ini diproyeksikan tumbuh sebesar 5% pada tahun 2019 [1]. Apalagi peluang pasar masih terbuka dan kapasitas produksi *Pulp* dan kertas meningkat karena ada perluasan [2]. Salah satu strategi yang diambil oleh pelaku industri adalah memastikan pasokan bahan baku yang optimal. Pentingnya strategi *supply chain* yang optimal tergambar jelas, mengindikasikan penentuan bahan baku yang tak sekadar cukup tapi berkelas di primer urusan industri *Pulp* dan kertas. Kemampuan

menjaga akurasi produksi ini tidak lepas dari sejauh mana bahan kimia mendukung serta menjadi poin krusial bagi sinergi produksi *Pulp* dan kertas demi peraih tercapainya target yang dioptimalkan [3].

Tahapan penting dalam proses pembuatan kertas yaitu proses *bleaching*. *Bleaching* merupakan proses penghilangan lignin yang masih tersisa dari proses untuk meningkatkan derajat keputihan [4]. Efisiensi proses pemutihan terkait erat dengan beragam faktor, termasuk karakteristik bahan baku yang diolah, jenis bahan kimia pemutih yang diterapkan, serta parameter proses yang diatur dalam tahapan pemutihan. Jelas bahwa peningkatan kecerahan materi hasil olahan dan upaya meminimalkan degradasi karbohidrat menjadikan evaluasi efisiensi pemutihan lebih mendalam dan kompleks. Sehingga, bahan kimia pemutih memiliki peranan penting dalam proses *bleaching Pulp* [5]. Seiring dengan meningkatnya produksi *Pulp* dan kertas untuk

proses *bleaching* mengakibatkan kebutuhan bahan pemutih juga mengalami kenaikan [6]. Saat ini bahan kimia alam yang digunakan sebagai bahan pemutih untuk produksi *Pulp* dan kertas adalah Hidrogen Peroksida (H_2O_2), dan Klorin Dioksida (ClO_2). H_2O_2 digunakan untuk *bleaching Pulp* berbahan serabut sawit, hasil perlakuan optimal pada persentase larutan H_2O_2 9,56 %, dengan prediksi tingkat kecerahan sebesar 66,2647%, nilai kekuatan tarik sebesar 4,2276 kgF/cm², dan nilai ketahanan sobek sebesar 16,22 mN.m²/g [4].

Kemampuan Klorin Dioksida sebagai bahan pemutih yang sangat efisien dalam mencapai tingkat kecerahan tinggi tanpa mengorbankan kekuatan *Pulp* telah lama diakui. Meski demikian, perlu dicatat bahwa dalam penerapannya, penggunaan Klorin Dioksida (ClO_2) juga membawa risiko tertentu [7]. Aplikasinya, penggunaan Klorin Dioksida (ClO_2) dapat menghasilkan senyawa-senyawa berbahaya seperti *Chloroform* dan *Chloro Nitromethane*, yang memiliki dampak serius terhadap kesehatan [8]. Selain itu, dalam proses *bleaching* limbah yang dihasilkan cukup banyak karena Likuor Alkali dikonsumsi dalam lima cara berbeda selama proses pemutihan, yaitu reaksi dengan lignin, reaksi dengan resin, netralisasi asam organik, pelarutan karbohidrat, dan adsorpsi oleh serat [9]. Sebagai alternatif, Hidrogen Peroksida (H_2O_2) dianggap lebih aman karena stabilitasnya yang tinggi, terutama dalam lingkungan basa, meskipun kecenderungannya untuk terurai akan dipercepat oleh kenaikan suhu [10].

Proses *bleaching* dengan H_2O_2 dimulai dengan degradasi lignin melalui pembentukan radikal fenolik, namun keberadaan beberapa jenis agen kimia oksidatif secara dramatis meningkatkan kompleksitas kimia delignifikasi. Kelompok asam karboksilat adalah kelompok fungsional yang memiliki pengaruh besar pada muatan serat yang ada dalam *Pulp*. Selama proses pemasakan *kraft* dan delignifikasi oksigen, kelompok asam karboksilat terbentuk, terdegradasi, dan dimodifikasi [11]. Hidrogen Peroksida juga diakui sebagai zat pemutih *Pulp* yang ramah lingkungan. Namun, penting untuk dicatat bahwa penggunaan kadar Hidrogen Peroksida yang berlebihan atau proses pemutihan yang terlalu agresif dapat berdampak negatif pada kualitas *Pulp*, khususnya dalam hal kekuatan dan tingkat kecerahan. Mengelola kadar dan proses pemutihan dengan hati-hati akan menjadi faktor kunci dalam menjaga kualitas *Pulp* yang optimal [4].

Berdasarkan studi literatur akan kelebihan dan kekurangan dari bahan pemutih seperti H_2O_2 dan ClO_2 , penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh kedua bahan tersebut bersama dengan variasi suhu terhadap kualitas produk *Pulp*. Sehingga dapat

mengoptimalkan penggunaan H_2O_2 yang lebih ramah lingkungan dari pada ClO_2 . Evaluasi ini terutama akan difokuskan pada nilai indeks tarik dan indeks sobek, sebagai parameter utama yang menunjukkan kekuatan dan keandalan kertas yang dihasilkan.

METODOLOGI

Bahan yang digunakan yaitu *Pulp* (dari salah satu industri di Riau), NaOH dan H_2SO_4 (Brataco Chemical), ClO_2 (Sigma-Aldrich, Merck), H_2O_2 (Sigma-Aldrich, Merck). Peralatan yang digunakan berupa peralatan gelas, *water bath*, dan *Universal Tensile Testing Machine* untuk mengetahui uji Tarik dan sobek.

Preparasi Sampel Pulp (Delignifikasi dan Bleaching)

Pulp ditimbang sebanyak 100 g ditambahkan H_2SO_4 (pH 3,5-4,5) 1% w/v dan air. Kemudian diaduk dan selanjutnya dilakukan pengukuran pH sebagai pH awal. *Pulp* kemudian disaring dan dicuci dengan air demineral. Selanjutnya, ditambahkan NaOH 0,1 N sebanyak 1% v/v dan air ke dalam *Pulp* yang telah disaring, kemudian dilakukan pengukuran pH. *Pulp* dimasukkan kedalam *water bath* dengan suhu 80°C selama 90 menit. *Pulp* kemudian dicuci hingga pH netral dan disaring untuk dilanjutkan ke tahap *bleaching* 1 [3]. *Bleaching* awal dilakukan dengan menambahkan ClO_2 dengan konsentrasi 1% v/v ke dalam wadah plastik yang berisi *Pulp* dan ditutup. Selanjutnya, *Pulp* diaduk selama 60 menit agar semua tercampur. Selanjutnya, campuran dimasukkan ke dalam *water bath* dengan suhu 75°C selama 60 menit. *Pulp* disaring dan filtratnya dianalisis untuk mengetahui pH akhir dan kadar ClO_2 . *Pulp* yang telah dipisahkan dari filtratnya siap digunakan untuk mengetahui pengaruh penambahan ClO_2 dan H_2O_2 terhadap Indeks Tarik dan Indeks Sobek.

Penambahan Klorin Dioksida (ClO_2)

Pulp yang telah melewati *bleaching* tahap 1 digunakan untuk melihat pengaruh penambahan ClO_2 terhadap pemutihan *Pulp* lanjutan. *Pulp* ditimbang sebanyak 100 g dimasukkan dalam wadah plastik yang dilengkapi dengan tutup, kemudian ditambahkan NaOH 0,1 N (pH 3,5-4,5) sebanyak 1% v/v dan air serta diaduk selama 30 menit. ClO_2 dengan variasi (0,2; 0,4; 0,7 % w/v) ditambahkan ke dalam *Pulp* diaduk selama 60 menit di dalam *water bath* pada suhu 75°C [8]. Campuran disaring, dicuci dengan *aquadest* hingga pH netral, selanjutnya dikeringkan dengan cara diangin-anginkan. *Pulp* selanjutnya dianalisa sifat fisiknya dengan uji kekuatan sobek (*tear test*) dan uji kekuatan tarik (*tensile test*).

Penambahan Hidrogen peroksida (H_2O_2)

Pulp yang telah melewati *bleaching* tahap 1 digunakan untuk melihat pengaruh penambahan H_2O_2 terhadap

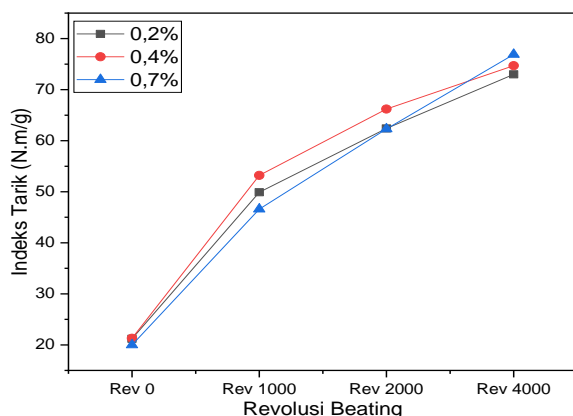
pemutihan *Pulp* lanjutan. *Pulp* ditimbang sebanyak 100 g dimasukkan dalam wadah plastik yang dilengkapi dengan tutup, kemudian ditambahkan NaOH (pH 3,5-4,5) 1% v/v dan air serta diaduk selama 30 menit. H₂O₂ dengan variasi (0,1; 0,2; 0,4% w/v) ditambahkan kedalam *Pulp* diaduk selama 60 di dalam *water bath* pada suhu 75°C. Campuran disaring, dicuci dengan *aquades* hingga pH netral, selanjutnya dikeringkan dengan cara diangin-anginkan. *Pulp* selanjutnya dianalisa sifat fisiknya dengan uji kekuatan sobek (*tear test*) dan uji kekuatan tarik (*tensile test*). Selanjutnya, konsentrasi terbaik dari ClO₂ dan H₂O₂ digunakan untuk melihat pengaruh suhu terhadap indeks tarik dan indeks sobek dengan variasi suhu 75° dan 85°C.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam penelitian ini, fokus utama adalah pada dua aspek penting *properties* yang dimiliki oleh *Pulp and paper* yaitu indeks tarik (*tensile index*) dan indeks sobek (*tear index*) sebagai pengukuran kekuatan kertas. Kedua indeks ini memberikan gambaran seberapa kuat kertas tersebut tanpa mempertimbangkan beratnya. Dengan demikian, nilai indeks kekuatan menjadi sebuah parameter independen dari berat kertas yang merupakan bagian dari mutunya [12]. Hasil evaluasi terhadap penambahan ClO₂ dan H₂O₂ serta pengaruh suhu dalam proses pemutihan *Pulp* secara rinci dijelaskan pada Tabel 1.

Pengaruh Penambahan Klorin dioksida (ClO₂)

Pengujian terhadap indeks tarik dan indeks sobek dilakukan menggunakan empat jenis *revolusi beating* yang berbeda, yaitu Rev-0, Rev-1000, Rev-2000, dan Rev-4000. Melalui Gambar 1, terlihat pengaruh penambahan ClO₂ terhadap indeks tarik.

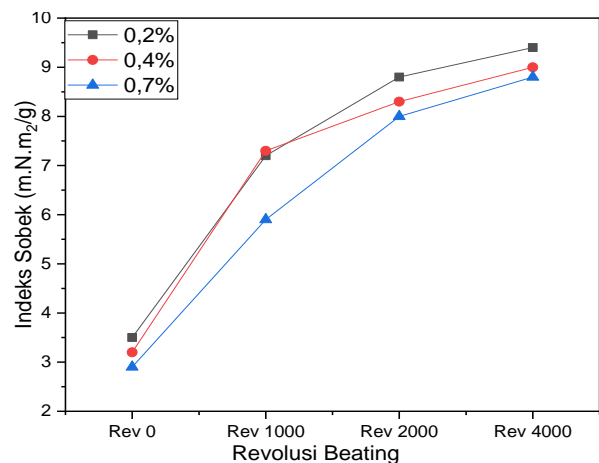


Gambar 1. Indeks Tarik pada Penambahan ClO₂

Gambar 1 menunjukkan bagaimana penambahan ClO₂ mempengaruhi indeks tarik kertas. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa pada konsentrasi ClO₂ 0,7%, indeks tarik kertas lebih tinggi dibandingkan dengan konsentrasi

ClO₂ lainnya pada *revolusi beating* 4000, dengan nilai mencapai 76,9 N.m/g. Pada *beating* 1000 dan 2000 konsentrasi 0,4% memberikan nilai indeks tarik tertinggi dan kemudian menurun. Hal tersebut menunjukkan bahwa indeks tarik optimum dari *Pulp* dengan konsentrasi ClO₂ 0,4% adalah 66,2 N.m/g sedangkan pada konsentrasi 0,7% hanya 62 N.m/g. Namun, dari hasil tersebut indeks tarik tetap mengalami peningkatan dengan bertambahnya *revolusi beating*, Peristiwa tersebut mengartikan *Pulp* masih dapat ditarik hingga *revolusi beating* berikutnya.

Klorin Dioksida memiliki kemampuan untuk mendegradasi struktur fenolik dan sebagian struktur nonfenolik dalam lignin melalui oksidasi [13]. Dari hasil ini, terlihat bahwa penggunaan ClO₂ mengakibatkan degradasi serat, namun tidak mengurangi panjang dan kekuatan serat secara signifikan [10]. Meskipun terdapat perbedaan indeks tarik antara konsentrasi yang berbeda pada *revolusi beating* 4000, perubahan ini tidak begitu signifikan. Namun demikian, hasil ini menunjukkan bahwa penambahan ClO₂ dalam proses pemutihan memberikan dampak pada indeks tarik kertas. Dalam proses pemutihan menggunakan ClO₂ reaksi yang terjadi sangat rumit dan selektivitas baik karena langsung bereaksi dengan lignin yang akan membentuk oksalat [9]. Kemudian, pengaruh penambahan ClO₂ terhadap indeks sobek dapat dilihat pada Gambar 2:



Gambar 2. Indeks Sobek pada Penambahan ClO₂

Gambar 2 menunjukkan bagaimana penambahan ClO₂ dalam berbagai konsentrasi memengaruhi indeks sobek *Pulp*. Data yang disajikan dalam gambar tersebut menunjukkan bahwa pada *revolusi beating* 0, konsentrasi ClO₂ sebesar 0,2% memberikan nilai tertinggi untuk indeks sobek, yaitu 3,5 m.N.m²/g. Hasil ini tetap konsisten bahkan pada *revolusi beating* 4000, di mana nilai indeks sobek mencapai 9,4 m.N.m²/g.

Pada konsentrasi 0,7%, terlihat adanya perbedaan yang mencolok antara nilai indeks sobek yang rendah dan nilai

indeks tarik yang justru tertinggi. Sebaliknya, indeks sobek menunjukkan penurunan nilai yang signifikan sejak awal *revolusi beating*. Perbandingan antara selisih nilai indeks tarik dan indeks sobek mengungkap bahwa kehadiran ClO_2 memiliki dampak yang kuat terhadap indeks sobek. Hasil yang tidak konsisten ini

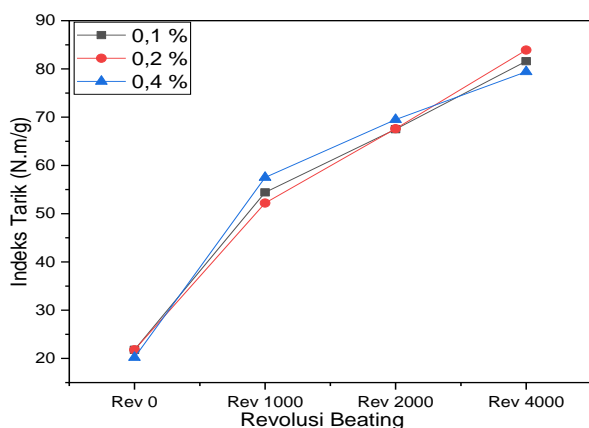
menunjukkan bahwa penggunaan ClO_2 dalam proses pemutihan *Pulp* atau perlakuan lainnya mungkin membuat serat kertas lebih mudah diregangkan, namun pada saat yang sama, serat tersebut menjadi lebih rentan terhadap sobekan, mencerminkan adanya *trade-off* dalam sifat-sifat mekanis serat yang dihasilkan [2].

Tabel 1. Nilai Indeks Tarik dan Indeks Sobek

Sampel	Penambahan ClO_2 (%w/v)	Penambahan H_2O_2 (%w/v)	Suhu $^\circ\text{C}$	Indeks Tarik N.m/g				Indeks Sobek m.N.m ² /g			
				Rev 0	Rev 1000	Rev 2000	Rev 4000	Rev 0	Rev 1000	Rev 2000	Rev 4000
1	0.2	-	75	21.2	49.9	62.4	73	3.5	7.2	8.8	9.4
2	0.4	-	75	21.3	53.2	66.2	74.7	3.2	7.3	8.3	9
3	0.7	-	75	20	46.6	62.3	76.9	2.9	5.9	8	8.8
4	-	0.1	75	21.8	54.4	67.5	81.6	3.1	6.8	8.4	9.2
5	-	0.2	75	21.8	52.2	67.6	83.9	2.8	7.9	8.6	8.9
6	-	0.4	75	20.2	57.5	69.5	79.4	3.1	7.4	8.6	8.9
7	0.2	0.4	75	21.8	52.2	67.6	83.9	2.8	7.9	8.6	8.9
8	0.2	0.4	80	21.1	54.9	67.2	86.8	3.9	7.8	9.1	9.4

Pengaruh Penambahan Hidrogen Peroksida (H_2O_2)

Hidrogen peroksida (H_2O_2) memiliki kemampuan delignifikasi yang lebih rendah jika dibandingkan dengan ClO_2 . Penambahan H_2O_2 dalam proses pemucatan tidak diikuti dengan degradasi selulosa sehingga kekuatan serat tidak menurun [14]. Indeks tarik berdasarkan penambahan H_2O_2 dengan variasi konsentrasi dapat dilihat pada Gambar 3.

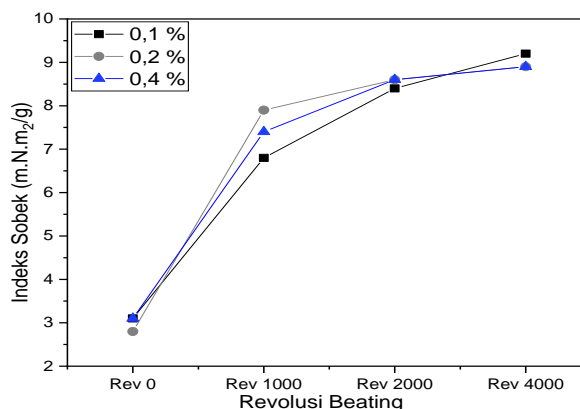


Gambar 3. Pengaruh H_2O_2 Terhadap Indeks Tarik

Gambar 3 menguraikan pengaruh penambahan H_2O_2 terhadap indeks tarik *Pulp*. Temuan menunjukkan bahwa penambahan H_2O_2 tidak memberikan pengaruh signifikan pada *revolusi beating* dari 0 hingga 4000. Perbedaan dalam indeks tarik cenderung minimal, terutama pada *revolusi beating* 0 dan 2000, namun nilai tertinggi tercapai pada konsentrasi 0,2% dengan nilai indeks tarik mencapai 83,9 N.m/g pada *revolusi beating* 4000. Jika dibandingkan dengan penambahan ClO_2 pada proses pemutihan, penambahan H_2O_2 menghasilkan nilai indeks tarik yang lebih tinggi. Pada konsentrasi 0,2% ClO_2 menghasilkan indeks tarik sebesar 73 N.m/g, lebih rendah dibanding peningkatan yang diberikan oleh 0,2%

H_2O_2 . Temuan ini sejalan dengan pernyataan yang mengungkapkan bahwa keunggulan penambahan H_2O_2 dibandingkan ClO_2 adalah dalam menghasilkan *Pulp* yang lebih tahan lama dengan penurunan kekuatan serat yang minimal [10]. Pada hasil tersebut tidak terjadi penurunan pada indeks tarik hingga revolusi beating 4000 yang menunjukkan bahwa masih bisa ditarik hingga *revolusi beating* selanjutnya.

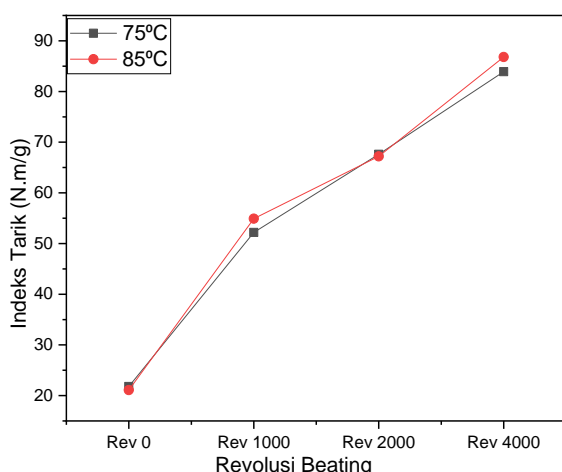
Delignifikasi dengan H_2O_2 juga memiliki potensi yang menarik untuk meningkatkan sifat mekanis kertas melalui peningkatan kelompok bermuatan dalam serat [11]. Hal tersebut karena pemutusan rantai selulosa lebih menonjol karena serangan radikal pada tahap oksigen dibandingkan dengan hidrolisis alkali pada tahap pemasakan. Sehingga menyebabkan keruntuhan lumen serat yang disebabkan oleh delignifikasi dan pelarutan komponen lainnya yang meningkatkan area kontak antara serat [15]. Oleh karena itu, ikatan serat-ke-serat diperkuat, yang memfasilitasi perkembangan sifat mekanis kertas [11]. Selanjutnya, pengaruh penambahan H_2O_2 terhadap indeks sobek dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh H_2O_2 Terhadap Indeks Sobek

Penambahan H_2O_2 tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap indeks sobek yang disajikan pada Gambar 4. Sama halnya dengan indeks tarik pada *Pulp* setelah ditambahkan H_2O_2 saat proses pemucatan menghasilkan perubahan yang tidak signifikan dengan bertambahnya konsentrasi H_2O_2 . Nilai indeks sobek tertinggi pada konsentrasi 0,1% dengan indeks sobek 9,2 m.N.m²/g pada *revolusi beating* 4000, sedangkan pada konsentrasi lainnya memiliki indeks sobek 8,9 m.N.m²/g pada *revolusi beating* 4000. Berdasarkan hasil tersebut bahwa nilai indeks sobek yang dihasilkan memiliki kesamaan terhadap indeks sobek pada penambahan ClO_2 0,2%. Hasil tersebut sesuai pada penelitian sebelumnya bahwa H_2O_2 memiliki kemampuan untuk menghilangkan lignin yang lebih rendah dibandingkan dengan ClO_2 [16]. Penambahan H_2O_2 dalam proses pemutihan tidak diikuti dengan degradasi selulosa, sehingga kekuatan seratnya tetap utuh. Proses pemutihan dengan H_2O_2 terjadi dengan pembentukan disosiasi H_2O_2 dan pembentukan anion Perihidroksida dalam kondisi alkali yang bertindak sebagai agen pemutih nukleofilik [17]. Kemudian terjadi proses oksidatif-reduktif dua tahap, sehingga H_2O_2 akan bereaksi dengan kromofor pada *Pulp* dan mengubah komposisinya menjadi bentuk tidak berwarna [11].

Selanjutnya pada pengaruh suhu terhadap indeks tarik dan indeks sobek pada pemucatan *Pulp*, suhu memainkan peran penting dalam proses pembuatan *Pulp* karena memiliki dampak langsung pada sifat-sifat mekanis dari *Pulp*, termasuk indeks tarik dan sobek. Suhu yang diterapkan selama proses produksi dapat mempengaruhi struktur kimia dan fisik dari serat-serat yang membentuk *Pulp* [4]. Hasil pengaruh suhu terhadap indeks tarik dapat dilihat pada Gambar 5.

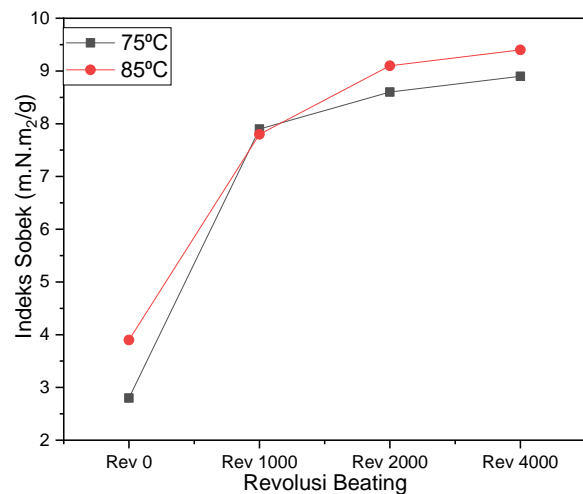


Gambar 5. Pengaruh Suhu Terhadap Indeks Tarik

Gambar 5 menjelaskan pengaruh suhu terhadap indeks tarik *Pulp*. Berdasarkan gambar tersebut bahwa suhu tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap indeks tarik hingga pada *revolusi beating* 4000. Rasio antara suhu 78°C dan 85°C sangat kecil hanya 0,5 N.m/g hingga

beating revolusi 4000. Hal tersebut menjelaskan bahwa bahan baku dan kondisi perubahan suhu yang sama dan konsisten menyebabkan nilai indeks tarik tidak berubah secara signifikan. Nilai tertinggi indeks tarik yaitu 86,8 N.m/g pada suhu 85°C pada *revolusi beating* 4000.

Suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan reaktivitas bahan baku, seperti kayu atau serat-serat, mempercepat proses kimia seperti pemutihan. Perubahan ini dapat menghasilkan serat yang lebih kuat dan lebih tahan terhadap tekanan, yang pada gilirannya meningkatkan indeks tarik dan sobek [18]. Namun, suhu yang terlalu rendah mungkin tidak cukup untuk pemutihan yang efektif, sementara suhu yang terlalu tinggi dapat merusak serat. Suhu optimal biasanya berada di sekitar 70°C hingga 80°C, dimana pemutihan cukup efisien tanpa menyebabkan degradasi serat yang signifikan [19]. Redeposisi serat terjadi karena proses pemanasan yang memungkinkan molekul-molekul selulosa dan hemiselulosa untuk saling berikatan kembali, membentuk jaringan yang lebih padat dan kuat [20]. Hal tersebut sesuai dengan hasil sebelumnya yang menggunakan waktu 70°C serta sejalan dengan indeks sobek yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Pengaruh Suhu Terhadap Indeks Sobek

Gambar 6 menggambarkan dampak suhu terhadap indeks sobek *Pulp*. Berbeda dengan indeks tarik, suhu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap indeks sobek, terutama pada *revolusi beating* 4000. Pada suhu 85°C, terdapat perbedaan yang cukup signifikan dalam nilai indeks sobek. Indeks sobek pada suhu 85°C mencapai 9,35 m.N.m²/g, lebih tinggi dari pada suhu 75°C. Temuan ini sejalan dengan hasil pada indeks tarik, menunjukkan konsistensi pengaruh suhu terhadap sifat mekanis *Pulp*. Suhu yang lebih tinggi diyakini dapat memengaruhi ikatan antar-serat dalam *Pulp*, meningkatkan kekuatan struktural kertas yang dihasilkan, dan terlihat dalam peningkatan indeks tarik dan sobek [5]. Suhu yang lebih tinggi dalam proses *bleaching Pulp* dapat menyebabkan

kerusakan serat dan hilangnya hemiselulosa. Pada awalnya, hal ini akan melemahkan *Pulp* karena degradasi struktur serat dan penurunan kandungan hemiselulosa, yang merupakan komponen penting dalam kekuatan *Pulp* [19]. Berdasarkan hasil tersebut, penting untuk menyeimbangkan suhu agar tidak merusak serat yang tersisa. Pengendalian suhu yang optimal dapat menghasilkan *Pulp* dengan kekuatan tarik dan kekuatan sobek yang baik, serta warna yang lebih cerah

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, Hidrogen Peroksida (H_2O_2), Klorin Dioksida (ClO_2), dan suhu memiliki pengaruh signifikan terhadap indeks tarik dan sobek pada pemutihan *Pulp*. Indeks tarik tertinggi tercapai dengan penambahan 0,2% H_2O_2 sebesar 83,9 N.m/g. Sementara itu, indeks sobek tertinggi dicapai dengan 0,1% H_2O_2 sebesar 9,2 m.N.m²/g. Sedangkan dalam pengaruh suhu, pada suhu 85°C didapatkan indeks tarik sebesar 86,8 N.m/g dan indeks sobek sebesar 9,35 m.N.m²/g. Hasil evaluasi ini menunjukkan bahwa H_2O_2 memiliki kemampuan yang lebih baik dibandingkan dengan ClO_2 dalam proses *bleaching Pulp*, terutama dalam hal peningkatan kekuatan tarik dan sobek kertas, serta lebih ramah lingkungan. Penggunaan H_2O_2 dalam proses pemutihan *Pulp* tidak hanya meningkatkan kualitas mekanis kertas tetapi juga mengurangi dampak lingkungan dibandingkan dengan ClO_2 , menjadikannya pilihan yang lebih unggul untuk aplikasi industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Apriani and P. Novianto, "Pengaruh pencampuran bahan baku acacia crassiparpa, acacia mangium dan eucalyptus terhadap kualitas *Pulp*," Jurnal Vokasi Teknologi Industri (JVTI), vol. 2, no. 2, 2020, doi: 10.36870/jvti.v2i2.186.
- [2] R. Apriani, "Optimasi pengaruh penambahan hidrogen peroksida terhadap kualitas *Pulp* di EOP stage," Jurnal Vokasi Teknologi Industri (JVTI), vol. 3, no. 2, 2021, pp. 036-042. doi: 10.36870/jvti.v3i2.249.
- [3] J. Jayanudin, R. Hartono, and N. H. Jamil, "Pengaruh konsentrasi dan waktu pemutihan serat daun nanas menggunakan hidrogen peroksida," Seminar Rekayasa Kimia dan Proses 2010, vol. A, no. 20, 2010. Pp.1-6
- [4] C. S. V. G. Esteves, E. Brännvall, S. Östlund, and O. Sevastyanova, "Evaluating the potential to modify *Pulp and paper* properties through oxygen delignification," ACS Omega, vol. 5, no. 23, 2020, pp. 13703-13711. doi: 10.1021/acsomega.0c00869.
- [5] G. Riama, A. Veranika, and Prasetyowati, "Pengaruh H_2O_2 , konsentrasi NaOH dan waktu terhadap derajat putih *Pulp* dari mahkota nanas," Teknik Kimia, vol. 18, no. 3, 2012.
- [6] P. Coniwanti, M. N. P. Anka, and C. Sanders, "Pengaruh konsentrasi, waktu dan temperatur terhadap kandungan lignin pada proses pemutihan bubur kertas bekas," Jurnal Teknik Kimia, vol. 21, no. 3, 2015. pp. 47-55
- [7] N. Sharma, S. K. Tripathi, and N. K. Bhardwaj, "Utilization of sarkanda for making *Pulp and paper* using elemental chlorine free and total chlorine free *bleaching* processes," Ind Crops Prod, vol. 149, 2020, pp 112316. doi: 10.1016/j.indcrop.2020.112316.
- [8] O. Sevastyanova, A. Forsström, E. Wackerberg, and M. E. Lindström, "Bleaching of eucalyptus kraft *Pulps* with chlorine dioxide: factors affecting the efficiency of the final D stage," Tappi Journal, vol. 11, no. 3. 2012. P p 43-53. doi: 10.32964/tj11.3.43.
- [9] H. Li, C. Du, S. Ge, and M. Liu, "Oxalate formation during ClO_2 *bleaching* of bamboo kraft *Pulp*," Nord *Pulp Paper Res J*, vol. 35, no. 1, 2020, doi: 10.1515/npprj-2019-0019.
- [10] A. M. Fuadi and H. Sulistya, "Pemutihan *Pulp* dengan hidrogen peroksida," Reaktor, vol. 12, no. 2, 2008, pp.18-24 doi: 10.14710/reaktor.12.2.123-128.
- [11] A. saad, M. Owda, A. Ibrahim, and M. bassiouni, "Effect of deinking and peroxide *bleaching* on the physical properties of recycled newspapers," Al-Azhar Bulletin of Science, vol. 31, no. 2, 2020, pp. 9-18 doi: 10.21608/bsb.2020.35942. 1070.
- [12] F. Tuerah, M. Umboh, and I. Rondonuwu, "Automasi alat uji tarik tipe terco MT 3017 berbasis microcontroller," Jurnal Online Poros Teknik Mesin, vol. 9, no. 1, 2021.
- [13] C. V. G. Esteves, O. Sevastyanova, S. Östlund, and E. Brännvall, "The impact of *bleaching* on the yield of softwood kraft *Pulps* obtained by high alkali impregnation *Bleaching* and high alkali impregnation impact," Nord *Pulp Paper Res J*, vol. 37, no. 4, 2022, pp. 593-608 doi: 10.1515/npprj-2022-0035.
- [14] R. L. Permadani and S. Silvia, "Sintesis bioplastik dari selulosa asetat tandan kosong kelapa sawit: sebuah kajian," Jurnal Integrasi Proses, vol. 11, no. 2, 2022, pp. 47-58 doi: 10.36055/jip.v11i2.16553.
- [15] Y. Chen, J. Wan, Y. Ma, X. Dong, Y. Wang, and M. Huang, "Fiber properties of de-inked old newspaper *Pulp* after *bleaching* with hydrogen peroxide," Bioresources, vol. 10, no. 1, 2015, pp. 1857-1868 doi: 10.15376/biores.10.1.1857-1868.
- [16] Z. A. shiddieqy Bahlawan, M. Megawati, B. Triwibowo, A. A. Pratama, Z. Pradiza, and A. Septiamurti, "Hidrolisis limbah kulit pisang (musa acuminata) menggunakan katalis asam untuk produksi bioetanol," REACTOR: Journal of

Research on Chemistry and Engineering, vol. 3, no. 1, 2022, pp. 17-21 doi: 10.52759/reactor.v3i1.45.

- [17] M. Li et al., "Effect of hydrogen peroxide *bleaching* on anionic groups and structures of sulfonated chemo-mechanical *Pulp* fibers," *Colloids Surf A Physicochem Eng Asp*, vol. 585, 2020, pp. 17-21 doi: 10.1016/j.colsurfa.2019.124068.
- [18] K. Silaban, Chairul, and M. P. Sembiring, "Penentuan suhu dan waktu optimum pada tahap D0 (Delignifikasi Pertama) proses *Bleaching* pembuatan *Pulp*," *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*, vol. 2, no. 2, 2015, pp.1-7
- [19] L. Li, S. Lee, H. L. Lee, and H. J. Youn, "Hydrogen peroxide *bleaching* of hardwood kraft *Pulp* with adsorbed birch xylan and its effect on paper properties," *Bioresources*, vol. 6, no. 1, 2011, pp. 721-736. doi: 10.15376/biores.6.1.721-736.
- [20] P. Bajpai, *Biotechnology for Pulp and paper processing*. 2018. Pp. 9-26 doi: 10.1007/978-981-10-7853-8.